

微通道板及其应用(II)

潘 广 炎

(中国科学院物理研究所)

4. 渡越时间

微通道板中的电子的渡越时间,同光电倍增管的分离式的打拿极系统比较起来,有显著的改进^[8]。这是因为微通道板的电子通道短得多(比光电倍增管约短100倍),和所加的场强大得多(比光电倍增管约大100倍)。它的渡越时间小于1ns,而通常快的光电倍增管是30ns。对于Chevron组合式的微通道板输出的脉冲宽度,用1000MHz示波器测量,渡越时间为几个ns,而上升时间为0.5ns。

5. 探测效率

通道倍增器对各种不同辐射源的探测效率由Schagen总结在表1中^[9]。这个表包括了单通道倍增器和微通道板的数据。

表1 通道倍增器的探测效率

辐射类型	能量或波长范围	探测效率(%)
电子	0.2—2keV	50—85
	2—50keV	10—60
正离子 (H ⁺ , He ⁺ , A ⁺)	0.5—2keV	5—85
	2—50keV	60—85
	50—200keV	4—60
真空紫外辐射	300—1100 Å	5—15
	1100—1500 Å	1—5
软X射线	2—50 Å	5—15
诊断X射线	0.12—0.2 Å	~1

探测效率的定义是^[4]:在通道板输出端产生可探测的脉冲信号与入射粒子信号的百分比。除了可探测电子信号之外,在微通道板的内壁加上半导体涂层,还可以直接探测下列各种粒子的信号:

(1) 从远真空紫外辐射到软X射线波段的光子;(2) 质子;(3) 正离子;(4) 高能量的氢

原子;(5) 亚稳态的热分子。

这类通道板对于很低能量的电子是不灵敏的(例如热电子),如果电子在加速场中获得能量,这些电子就能够被微通道板所探测。

微通道板可以作为光子的探测器,在没有窗口时,可探测远真空紫外和软X射线波长的光子,它也能在密封管中同光阴极配合,用来测量紫外、可见光和近红外波长的光子。这些光子的探测效率已用单通道倍增器测定过,即用人射辐射在半导体涂层上直接产生的光电子来确定。最近对微通道板的测量表明,它们的效率与单通道设备测量的结果相似。

然而,对不同波长的辐射进行测量时,微通道板的探测效率却比单通道倍增器高^[4]。其主要原因是:在波长低于700 Å时,通道板的量子产额是辐射入射角的函数,用通道板测量时,辐射入射角是5°,而单通道倍增器是垂直入射的。当波长增加时,单通道倍增器和通道板之间效率的差别变得小了。在波长大于800 Å时,通道板的探测效率几乎同单通道倍增器的相等。

微通道板的探测效率是波长的函数。对于软X射线(波长为2—68 Å)来说,微通道板的探测效率是3.5—16%^[4]。测量是用40 μm通道板在不同入射角下进行的。入射角接近6°时,有一个锐的效率峰值。

在近紫外、可见光和近红外波段,微通道板的探测效率很低,但是微通道板可以和有合适光谱灵敏度的光阴极联合使用。

对入射电子的探测效率,在1—50keV能量区域,用单通道电子倍增器测量的结果,取决于

所用倍增器漏斗的形状和尺寸,以及电子的入射角和输入端电场的特性。一般来说,这些实验结果表明,单通道倍增器的探测效率在低能范围内约为95%,在高能范围内约为40%。电子入射角对微通道板的灵敏度的影响见图17^[18]。

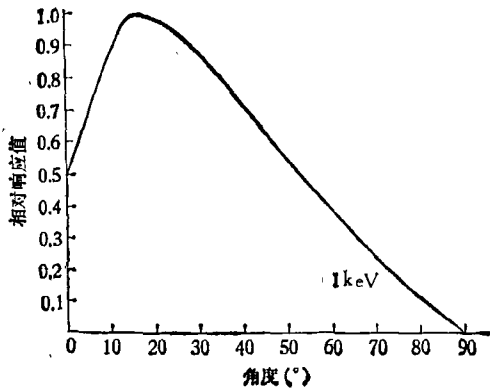


图 17

近来,有人把氢、氦和氩离子作为入射粒子,并在离子能量为0.1—4keV范围内,对单通道电子倍增器的探测效率进行了测量。测量数据表明^[4],在离子能量大于2keV时,不同质量的离子都能达到50%以上的探测效率。在离子能量低于2keV时,对于不同质量的离子,探测效率变化较大。对于0.5keV的氢离子,探测效率是30%;对于0.5keV能量的氦离子,探测效率是40%。

图18^[4]表示两种组合形式微通道板的探测效率随入射光波长的变化曲线,其中虚线代

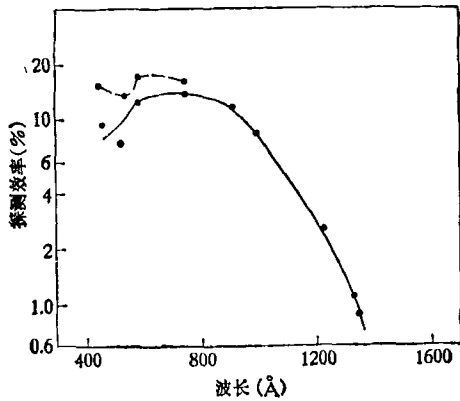


图 18

表高增益的三级通道板组合形式,实线代表两级微通道板组合形式。

图19^[6]表示微通道板对于不同能量的人射电子的探测效率。

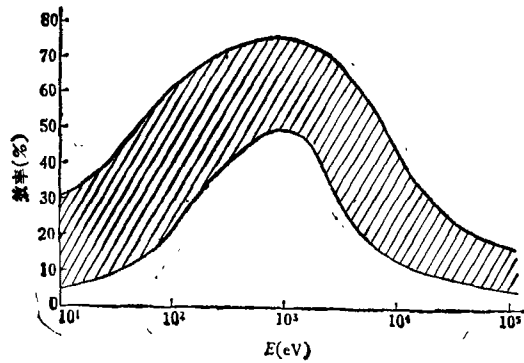


图 19

图20^[6]表示微通道板对正离子和中性粒子的探测效率。

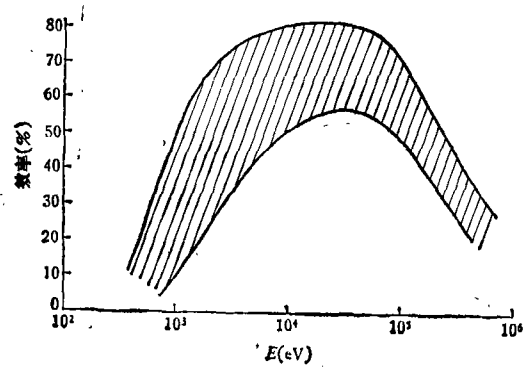


图 20

图21^[6]表示对于电磁辐射的微通道板的探

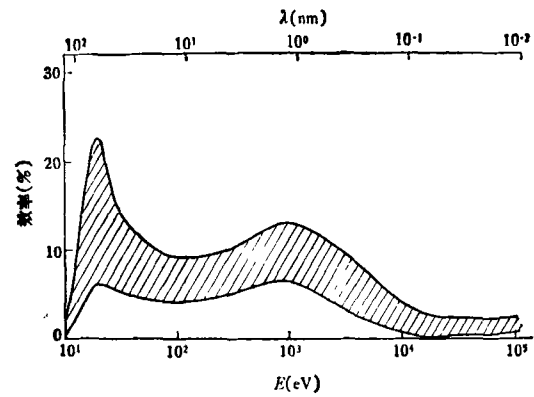


图 21

测效率。

图 22^[6] 表示真空紫外、X 射线、 γ 射线的入射角对微通道板的灵敏度的影响。

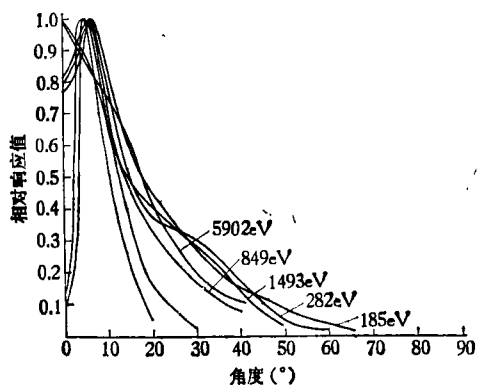


图 22

图 23^[8] 表示质子入射角对微通道板灵敏度的影响。

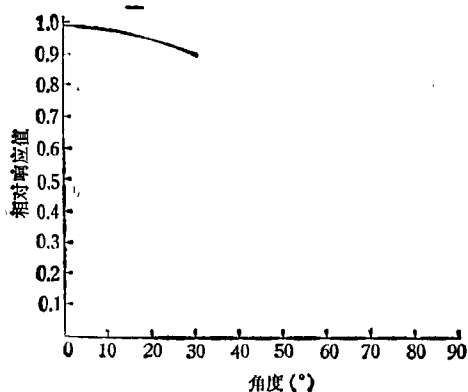


图 23

四、微通道板的应用

微通道板有尺寸很小的微通道，具有高的电流增益和极好的空间分辨能力，并有反映极快时间过程的本领，因此，它可用作高增益成像探测器和超快速的高增益的光电倍增器。微通道板的基本应用包括：量子位置灵敏探测器、象增强器、X 射线成像、中子射线照相、电子显微技术、超快速阴极射线管、超快速光电倍增器和条纹照相机等。本文主要讨论以下三种应用：量子位置灵敏探测器、超快速光电倍增器

物理

和象增强器。

1. 量子位置灵敏探测器

微通道板是由 10^4 — 10^7 个微型化的电子倍增器互相平行沿一定方向组成的一个列阵。当入射量子通过这些通道放大之后，要把这些量子以及它的位置信息同时记录下来，最简单的方法就是利用一种多阳极系统来确定到达阳极的电子云的重心位置。这些阳极是由许多小的矩形的导电金属条和每两个金属条之间连接的电阻和电容组成 [见图 24(a)]^[6]。如果用导线代替这些金属条，就有可能构成二维读出系统 [见图 24(b)]^[6]。现在，组成多阳极系统的形式很多，例如由不同形式的金属条的组合可以省去复杂的电阻、电容网络系统，仍然保持量子位置灵敏的特性；以 360° 射线式的金属条的组合，可以探测量子的角分布特性等。

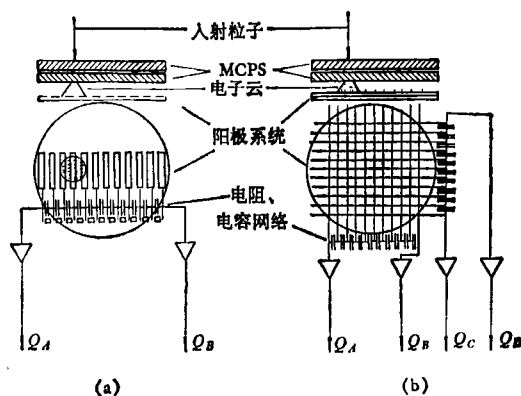


图 24 (a) 多阳极金属条探测器；
(b) 交叉导线网探测器

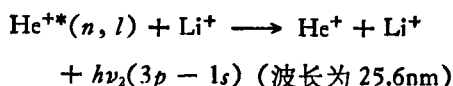
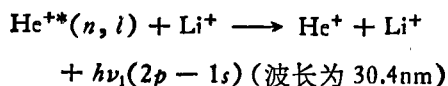
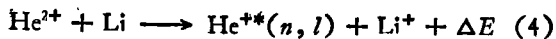
网络中的电容是为了确保在两个电荷灵敏放大器之间电荷分配的均匀性，电阻的功能是为了防止金属条上充电的上升时间大于放大器的上升时间。电子云可以展宽跨越在若干金属条上，围绕一个位置形成对称的斑点，这个位置就是量子轰击的位置。这样，电子云的重心位置 X 就能由下式确定：

$$X = Q_B / (Q_A + Q_B), \quad (3)$$

式中 Q_A 表示 A 端输出的信号， Q_B 表示 B 端输出的信号。现举例说明如下：

(1) 光谱测量

我们曾做过实验, 实验中的离子和原子碰撞的反应式为



上述反应式说明, 离子 He^{2+} 和原子 Li 在碰撞中捕获一个电子而产生的两个激发态, 衰变时发射光子 $h\nu_1$ (波长为 30.4 nm), 和光子 $h\nu_2$ (波长为 25.6nm)。

这两种光子经过单色仪分光之后, 同时分别入射到微通道板上。因为 Chevron 微通道板的增益是 10^6 , 所以有大量的光电子到达多阳极系统的金属条上。经过电阻、电容网络之后分别到达 A 端和 B 端的前置放大器。这些放大器的主要任务是放大信号, 并将电荷信号转换为电压信号。然后, 如图 25 所示, A 端和 B 端输出信号之和, 以及 B 端输出信号, 分别经主放大器放大后输入 ORTEC 位置灵敏探测分析器, 波长位置可由下式确定:

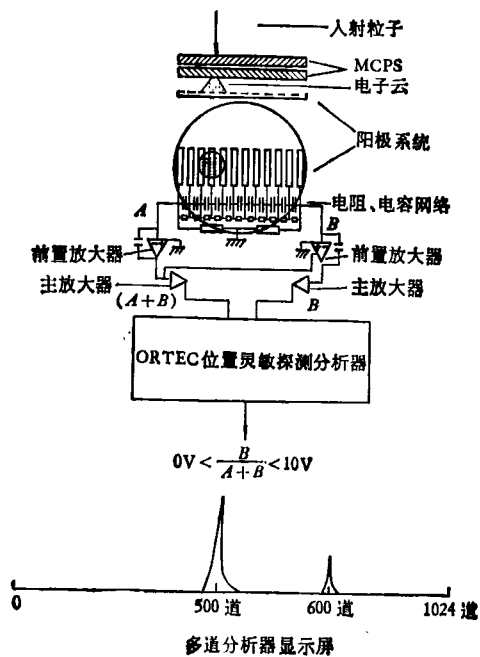


图 25

$$0V < \frac{Q_B}{Q_A + Q_B} < 10V \quad (5)$$

最后, 把 ORTEC 位置灵敏探测分析器的输出信号输入多道分析器, 我们就可以在荧光屏上看到波长为 30.4nm 和波长为 25.6nm 的线谱出现在不同位置上。光谱的分辨率主要决定于单色仪光栅的色散本领。但是, 入射到多阳极系统上的电子云大小, 对分辨率也有影响, 如果电子云大于三个金属条, 就能得到较高的分辨率。

在这种测量中, 由于使用了微通道板, 一次可以同时测量几十条谱线, 而使用光电倍增管或通道电子倍增器, 一次只能测量一条谱线。并且通过 CAMAC 插件同计算机联用, 把测量的数据全部存入计算机存储系统, 最后由编制的计算机程序处理得到的实验结果。

(2) 质谱测量

图 26(a)^[6] 是一种对闪光热分解所得到的离子进行质谱分析的装置。首先用闪光照射样品。由于热分解而产生的离子, 经过磁分析器后, 不同质荷比的离子, 以不同的空间位置通过微通道板, 射在荧光屏上, 经光导纤维、摄像照相机和光学多道分析器处理, 得到如图 26(b) 所示的氙的质谱^[6]。

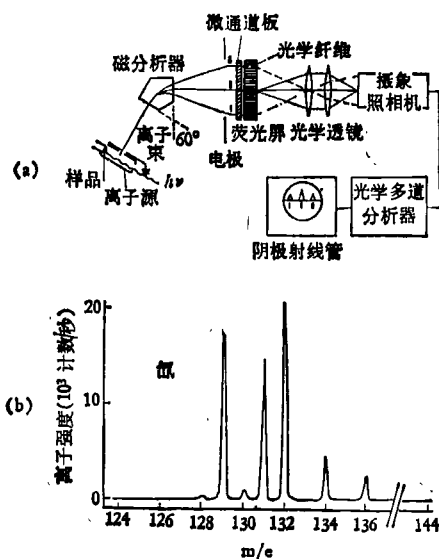


图 26 (a) 闪光热分解质谱探测器;
(b) 氙的质谱分布

在这个实验中,微通道板的作用在于可以同时测量不同质荷比的离子的分布,并且使整个测量系统由光学多道分析器通过 CAMAC 插件同计算机连接,从而得到实验结果。

(3) 在表面物理研究中进行光电子发射二次微分谱的测量

最近,人们用微通道板来研究表面发射光电子的二次微分谱。他们用圆柱形的静电分析器对光电子的能量进行分析,并且将经能量分析后的光电子引入微通道板。这个探测系统能够同时测量随电子发射角 ϕ 和透镜扫描角 θ 而变化的电子相对强度。这个系统能够得到漂亮的低能电子衍射(LEED)图象,能得到明显的 ϕ 角依赖关系的结构图^[6]。

2. 超快速高增益光电倍增器

微通道板有极好的时间响应特性,这是因为它的厚度大约仅有2mm,并且板上加有很强的电场(约5—10kV/cm)。因此,电子跃迁时间短于1ns,展宽小于100ps。第一个高速光电倍增器是由法国电子学和物理应用实验室^[4]用曲线微通道板做成的,电子增益大于 10^6 ,光阴极直径大约15mm。在美国,第一个高增益光电倍增器是在ITT电光产品公司^[4]用Z组合式微通道板做成的。电子增益 10^6 ,光阴极直径18mm。得到的脉冲上升时间为0.76ns,经过上升时间系统校正之后为0.64ns。脉冲宽度大约为1.3ns^[4]。以200ps电脉冲产生的光脉冲来照射全部光阴极而得到的单光电子时间展宽接近250ps。在每个脉冲产生6000个光电子的条件下,脉冲宽度大约为30ps^[4]。同通常高增益快速光电倍增管相比较,这些结果是很有利的,因为后者时间展宽为300ps,并要求对光阴极作

局部照射和光阴极有最佳工作条件。

3. 象增强器

在象增强器中^[4],微通道板的输出电流(同荧光屏亮度有关)受通道板的金属条的电流限制,这就可以起到对强光的抑制作用。增益能够随微通道板电压的变化而变化。 $\phi 25\text{mm}$ 的微通道板用作象增强器时,典型的分辨率是每毫米28—35对线,这样,通道中心间的距离小于 $17\mu\text{m}$ 。这种分辨率可以用直线通道板在增益 10^3 — 10^4 条件下进行工作就能达到。

微通道板作为象增强设备的放大元件^[5],对带电粒子和能量很高的光子有较高的灵敏度。现在,已应用到X射线、远紫外天文学和电子束聚变的研究。当然,微通道板发展的更主要的原因是军事方面^[3]。一种好的象增强器表明,组合式的微通道板能够增加视场亮度10000倍,因此有可能在夜间黑暗的条件下工作。目镜、双目镜和组合式的微通道增强器,在夜间军事活动中已经成为重要工具。

参 考 文 献

- [1] Einstein, *Ann. der Phys.*, 17 (1905), 132; 20 (1906), 199.
- [2] R. A. Millikan, *Phys. Rev. (Series II)*, 7 (1916), 18; 7 (1916), 355.
- [3] Michael Lampton, *Scientific American*, 245 (1981), 46.
- [4] B. Leskovar, *Phys Today*, 30-11 (1977), 42.
- [5] J. L. Wiza, *Nucl. Instr. Meth.*, 162 (1979), 587.
- [6] Invited Papers and Progress Reports, XI ICPEAC, Kyoto, 1979, eds. K. Takayanagi and N. Oda, pp. 831—842.
- [7] S. Dhawan et al., *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, NS-24 (1977), 270.
- [8] D. de Bruijn et al., *Microchannel Plates*, Chapter 1, (1982), ed. H. Kersten, pp. 1—46.

1984年第3期《物理》内容预告

非晶金属的形成及稳定性(王煜明);磁单极子存在吗?(董宝中);等离子体共振法分离同位素(王龙);磁记录的发展及其应用(罗河烈);生物电镜的应用及其前途(洪涛等);超导磁体物理研究的新实验技术(焦正宽等);回归分析中的计算问题(李宁);强磁场技术及其在科学研究中的应用(高秉均);固体离子双电层电

容器主要参数的直流测试方法(薛荣坚等);改进 Bessel 函数法激光干涉测振(陈六守等);近代物理讲座第四讲 物理学中的一些基本电路问题(II)(余道衡);新实验技术在材料研究中的应用讲座第十二讲 微区电子衍射及其应用(温树林);核物理学家——莉泽·迈特纳博士(Louis Haber)。(下转第94页)